

이동식부탄연소기의 조리기구재질에 따른 온도 특성

김대현 · 이근오*

한국가스안전공사 · * 서울과학기술대학교 안전공학과
(2014. 2. 13. 접수 / 2014. 6. 12 채택)

Temperature Characteristics on Cooking Equipment Materials of Portable Gas Ranges

Dae-Hyun Kim · Keun-Oh Lee**

Korea Gas Safety Corporation

*Department of Safety Engineering, Seoul National University of Science and Technology

(Received January 15, 2014 / Accepted June 12, 2014)

Abstract : Accidents involving portable ranges occurred total 133 cases for the last five years(2008~2012). It accounted for 18.0% of all gas accidents(739 cases). Major causes of accidents are using of excessive hot grill, leaving a butane can near fire and overheating of a butane can during cooking. In this study, it is a desire to investigate the relationship between thermal behavior mechanism depending on characteristics of cooking equipment materials of portable gas ranges. It shows that slope of temperature change curve correlates with difference of heat capacity on thermal behavior characteristics experiment depending on materials of cooking equipment. In conclusion, temperature characteristics appear differently depending on variables such as materials of cooking equipment. Especially, it is necessary to restrict using cooking equipment made of stones, because it is very dangerous that temperature of can is rapidly increasing caused by high heat capacity of stone.

Key Words : thermal behavior characteristics, cooking equipment, portable gas range, heat capacity

1. 서론

가스산업의 발전과 야외활동 문화가 확산되면서 이동식부탄연소기 관련 산업 또한 괄목할 만한 성장을 하고 있다. 2012년 이동식부탄연소기는 약 272만대, 이동식부탄연소기용 용기(1회용)는 약 2억개가 생산되는 등 연간 약 2,500억원의 시장을 형성하고 있다.¹⁾

그러나, 이러한 가스사용의 증가와 함께 가스사고는 지속적으로 발생하고 있으며, 사고 형태 또한 매우 다양해지고 있다. 특히, 이동식부탄연소기는 다른 가스기기에 비해 사용환경이 매우 다양한 특징을 가지고 있으며, 이로 인해 관련 사고 또한 여러 형태로 발생하고 있다.

2008년부터 2012년까지 최근 5년간 이동식부탄연소기 관련 사고는 총 133건이 발생하였으며 전체 가스사고(739건)의 18.0%를 차지하였다. 특히, 전체 가스사고는 매년 감소하는 반면 이동식부탄연소기 관련 사고는

2008년부터 2012년까지 28건, 30건, 27건, 30건, 18건으로 꾸준히 발생하고 있으며, 2008년부터 2012년까지 5년동안 사망 2명, 부상 223명이 발생하는 등 사고 건당 평균 1.67명의 인명피해가 발생하여 위험성이 높다. 주요 사고원인으로는 과대불판 사용 18건(13.5%), 접합용기 장착불량 7건(5.3%), 음식물 조리중 과열 8건(6.0%) 등 연소기 사용 중 발생한 사고가 82건(61.6%)이고, 화기근처 용기 방치 28건, 접합용기 직접가열 10건 등 접합용기의 보관·가열·폐기 과정에서 발생한 사고가 51건으로 전체사고의 38.4%를 차지하였다.²⁾

이동식부탄연소기 사고는 대부분 제품의 기술적인 문제나 사용자의 취급부주의에 의해 발생되며, 연소기 특성과 사용환경에 따라 위험성은 달라질 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 조리기구 재질에 따른 열거동 특성 실험을 통해 이동식부탄연소기에서의 열거동 매커니즘을 규명하는 한편, 사용환경 조건과 가스사고 발생과의 상관관계 규명을 통해 이동식부탄연소기의

* Corresponding Author : Keun-Oh Lee, Tel : +82-2-970-6381, E-mail : leeko@seoultech.ac.kr

Department of Safety Engineering, Seoul National University of Science and Technology, 232, Gongneung-ro, Nowon-gu, Seoul 139-743, Korea

안전성 향상 방안을 제시하고, 나아가 최근 증가 추세에 있는 이동식부탄연소기 사고를 예방하고자 하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치

한국산업규격 KS B 8106에서는 이동식부탄연소기의 연소 상태 시험 방법을 규정하고 있다. 그러나, 본 실험은 실제 평상 시 이동식부탄연소기의 사용 환경 조건을 최대한 충족시키고, 실험 중 발생할 수 있는 안전사고의 위험 등을 감안하여 실내와 실외를 병행하여 실시하였으며, 실외 실험 시 실내실험과의 오차를 최대한 줄이기 위해 최대한 실외환경조건을 실내환경조건과 유사하게 실험장치를 구성하였다. Fig. 2.1은 실외 실험장치의 배치도를 나타낸 것이다.

온도 측정 장치는 National Instruments Corporation사의 다기능 데이터 수집장치(모델명: NI cDAQ-9178)를 사용하였으며 K-type 열전대와 LAB VIEW 2010 소프트웨어를 이용하였다. 또한, 실험용 가스용기로는 현재 시중에서 유통되고 있는 220 g의 가스(주성분 : C₄H₁₀)가 충전된 용기를 구입하여 사용하였다. 정확한 실험 결과를 얻기 위해 분석장비 GC/FID HP-6890를 사용하여 KS M ISO 7941의 방법에 따라 실험용 가스 용기에 들어 있는 가스의 성분분석을 실시하였다. 측정 결과는 체적분율로 프로판 6.09%, i-부탄 84.76%, n-부탄 6.11%, 기타 3.04%로 나타났다. 한편 ‘LPG품질 검사 신뢰도 향상에 관한 연구’(한국가스안전공사, 2004년)³⁾에 의하면 가스 성분비와 용기 내부의 증기압과의 관계는 Table 2.1 및 Fig. 2.2와 같다.

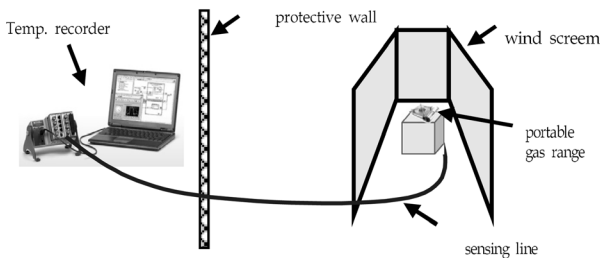


Fig. 2.1 Schematic diagram of experimental apparatus

Table 2.1 Numbering of gas compositions

No. Vol(%)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
C ₃ H ₈	0.08	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0	0
i-C ₄ H ₁₀	0.85	0.800	0.700	0.600	0.500	0.400	0.300	0.200	1	0
n-C ₄ H ₁₀	0.07	0.100	0.200	0.300	0.400	0.500	0.600	0.700	0	1

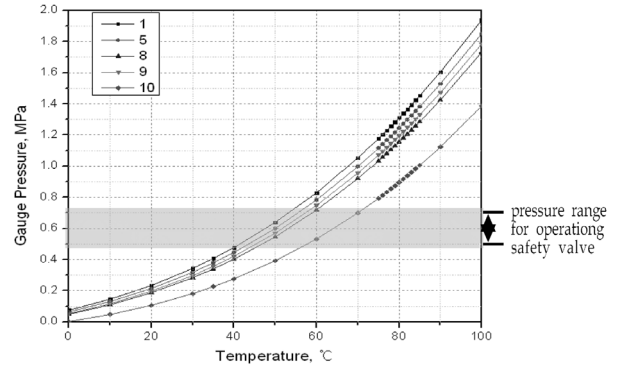


Fig. 2.2 Vapor pressure according to gas composition.

실험용 가스의 성분은 프로판 8%, i-부탄 85%, n-부탄의 조성이 7%인 No.1의 경우와 유사하므로 Fig. 2.2에 의하면 온도가 20°C에서는 내부압력이 0.233 MPa이며, 40°C에서는 0.477 MPa를 나타내고 있다. 특히, 42~53°C에서는 안전밸브가 작동해야 하는 국내법규⁴⁾에서 정하는 규정압력(0.5~0.7 MPa) 범위에 도달하고, 80°C에서는 용기의 변형압력시험인 1.3MPa에 이르는 것을 알 수 있다.

2.1.1 실험용 연소기구

본 실험에 사용한 이동식부탄연소기는 야외 조리용으로 주로 사용하는 카세트식 제품으로 공인검사기관의 검사에 합격한 제품을 사용하였다.

Fig. 2.3은 실험에 사용한 이동식부탄연소기의 세부 규격을 나타내고 있다. 연소기의 크기는 가로 340 mm × 세로 255 mm × 높이 78 mm(삼발이 제외)이며, 가스 소비량은 시간당 최대 150 g/h이다. 용기이탈식 안전장치가 부착되어 있으며, 열전도판은 설치되어 있지 않은 제품이다.

2.1.2 실험용 조리기구

본 실험에서는 한국산업표준 KS D 9001규격⁵⁾에서 정하는 알루미늄 재질의 지름 32 cm인 표준냄비와 Fig. 2.4와 같이 시중에 유통되고 있는 5가지 재질의 제품을

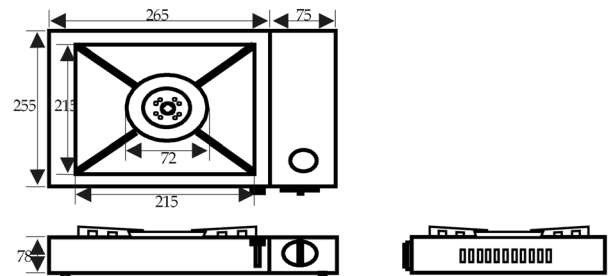


Fig. 2.3 Specification of portable gas range in experiments.

Table 2.2 Specification of cooking equipment in experiments.

No.	materials	shape	mass (kg)	size(width×depth)
1	standard pot(KS D 9001)	circular	0.86	32(dia)
2	Al coating	rectangular	2.2	41×30
3	Fe coating	rectangular	6.6	43×32
4	composite stainless	rectangular	1.9	40×35
5	stone plate	rectangular	7.0	35×35

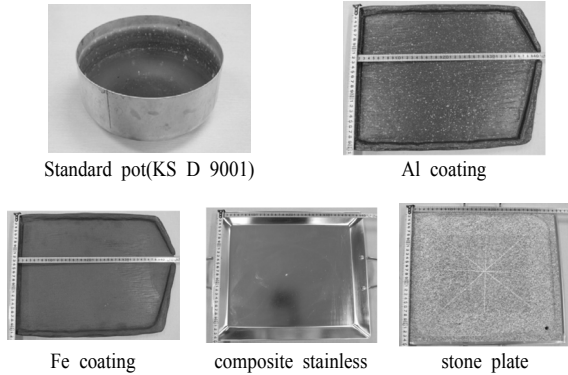


Fig. 2.4 Type of cooking equipment materials.

구입하여 실험에 사용하였으며, 조리기구의 재질에 따른 열 영향 실험에 중점을 두었다.

2.2 실험 변수 및 실험 방법

2.2.1 실험 변수

1) 실험조건

본 연구는 대기압 하에서 조리기구의 재질에 따른 이동식부탄연소기용 용기의 열 영향과 온도변화에 대해 관찰하였다. 실제 사용조건에서 용기의 온도에 영향을 미치는 변수로 조리기구의 크기와 함께 용기와의 상대적 위치가 매우 중요한 만큼, 본 실험에서는 Fig. 2.5과 같이 용기 중심부를 기준으로 +5 cm에 조리기구의 외면이 위치하도록 설치하여 실험을 진행하였으며, 조리기구의 재질을 일반적으로 많이 사용하는 알루미늄 코팅, 철 코팅, 2종 스테인리스(스테인리스+알루미늄 접합) 및 돌판에 대하여 온도를 측정하였다.

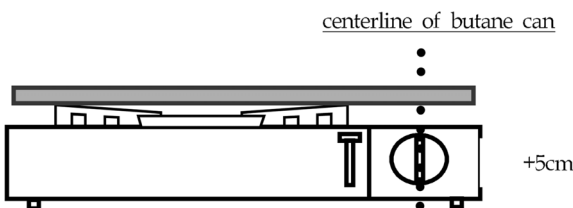


Fig. 2.5 Setup position of cooking plate

2) 실험 방법

실험 시 바람 등 외부 환경조건의 영향을 최소화하기 위해 바람막이를 설치하였다. Fig. 2.6과 같이 연소기와 용기에 미치는 온도영향을 관찰하기 위해 8개 위치에 온도센서를 부착하였으며, 온도측정장치는 다기능 데이터 수집장치(DAQ)를 이용하고 K-타입 열전대를 사용하였다. 온도센서는 연소기 및 용기에 8개(용기 상부 2, 하부 1, 열전도판 1, 캔 장착실 내벽 1, 용기 덮개 상부 1, 연소기 바닥면 중앙 1, 상판 1)를 부착하였으며, 온도는 ‘LAB VIEW 2010’ 소프트웨어를 사용하여 1초 단위 연속적으로 측정·기록하고, 엑셀로 변환하여 처리하였다. 실험결과에 대한 그래핑은 엑셀과 Origin Pro 8.0 버전을 이용하였다.

실험 1회당 실험시간은 최초 점화 시점부터 용기가 파열 및 화염이 발생하거나 가스가 완전히 소진될 때까지 진행하였으며, 실험이 종료되면, 조리기구와 용기를 분리하고 실험장치의 온도가 대기온도와 평형상태에 이르도록 한 후, 위 과정을 반복하여 실험을 하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 이동식부탄연소기의 일반적인 온도 특성

Fig. 3.1은 실험을 통해 얻어진 이동식부탄연소기 사용중 용기의 일반적인 온도 특성을 나타내는 그래프이다. 그림에서 보듯이, 용기에서의 온도 특성은 안전밸브의 작동 여부에 따라 다르게 나타나고 있으며, 이동식부탄연소기의 안전밸브의 작동압력은 0.5~0.7 MPa로 설계되어 있으며, Fig. 2.2의 결과에 의하면 용기 내 온도가 약 42~53°C에 이르렀을 때 안전밸브가 작동하여야 한다.

3.1.1 Case A : 안전밸브 작동

안전밸브가 작동하였을 경우, 용기 상부(기상부)는 점화 시점부터 점차적으로 온도가 상승하였다. 연소기의 안전밸브가 작동된 직후에는 연소기 주변의 열원에 의해 일시적으로 온도가 상승하지만 주변온도가 상대적으로 높지 않기 때문에 점차 떨어지는 것을 볼 수 있

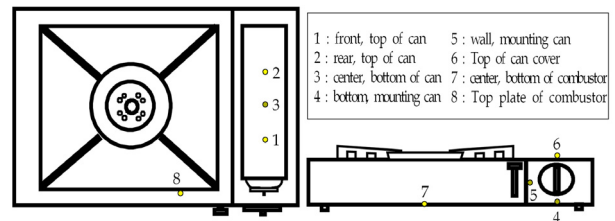
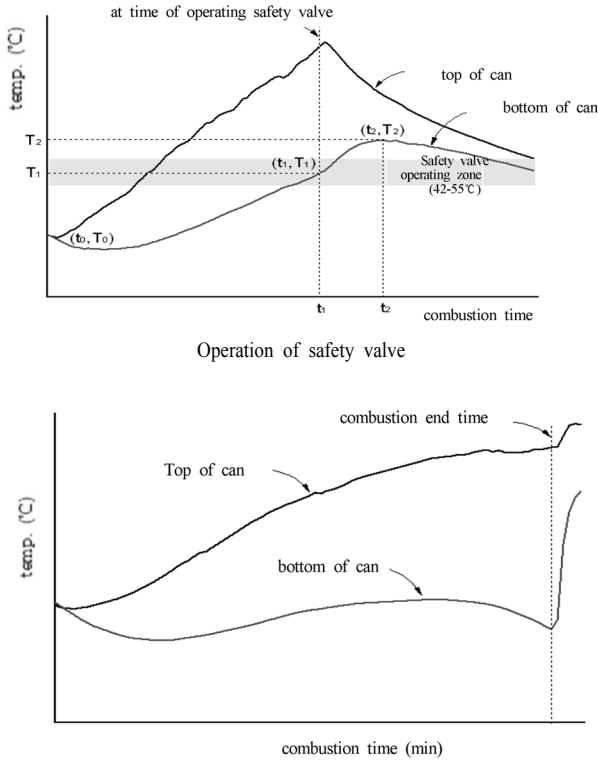


Fig. 2.6 Attachment location of temperature sensor.



B. Non-operation of safety valve
 Fig. 3.1 Temperature behavior characteristics of portable gas range during combustion time.

다. 용기 하부(액상부)는 기화잠열의 영향으로 인해 Fig. 3.1의 A와 같이 연소가 시작(t_0, T_0)되면서 온도가 하강하였다. 그러나, 연소가 계속 진행되면서 용기에 영향을 미치는 연소기 각 부위의 열에너지가 계속 축적되고, 일정한 양으로 기화하는 부탄용기의 기화잠열보다 커지기 때문에 액상부의 온도가 상승하게 된다. 특히, 안전밸브가 작동(t_1, T_1)된 후에는 기화잠열에 의한 열손실이 줄어들고 용기에 영향을 미치는 연소기 주변의 높은 열에너지(조리기구, 캔 뒷개, 바닥면 등)의 영향으로 액상부의 온도가 급격하게 상승하며 최고온도(t_2, T_2)에 도달한 후 점차 하강하였다.

3.1.2 Case B : 안전밸브 미작동

안전밸브가 작동하지 않았을 경우, 용기 상부의 온도는 안전밸브가 작동했을 경우보다 초기 온도 상승 기울기는 다소 완만하지만 지속적으로 상승함을 볼 수 있으며, 연소시간이 경과할수록 그 상승 폭은 줄어들었다. 용기 내부의 가스가 소진된 내에는 안전밸브가 작동했을 경우와 마찬가지로 연소기 주변의 열원에 의해 일시적으로 온도가 상승하다가 다시 하강하는 모습을 보였다. 액상부는 기화잠열의 영향으로 인해 연소를 시작하는 시점부터 온도가 하강하다가 연소가 계속

진행되면서 완만한 상승 곡선으로 변곡하지만 연소 후 반부로 갈수록 가스잔량이 감소함에 따라 기화잠열의 영향을 더욱 많이 받으면서 액상부 온도는 다시 하강하는 모습을 보였다. 일부 조건에서는 액상부 온도가 영하까지 떨어지는 경우도 발생하였다. 특히, 가스소진 시점에 다다르면서 기상부와 온도 격차는 더욱 많이 벌어졌으며, 이에 따라 가스소진 후 용기 하부(액상부)의 온도는 매우 급격하게 상승하였다.

위 실험 결과를 통해 이동식부탄연소기 사용중 용기의 열거동 특성을 알 수 있었다. 전체 연소시간의 약 60~70%가 경과한 시점에서 액상부의 온도가 가장 높게 나타나는 것을 알 수 있었다. 또한, 안전장치가 불량인 경우, 안전장치 작동 후 또는 연소기 주변의 열에너지가 상향 안정화되는 연소 후반부에 사용을 종료할 경우 주변의 높은 에너지의 영향으로 인해 용기 내부의 온도와 압력이 급격히 상승할 수 있다는 것을 알 수 있다.

또한, 용기 액상부의 온도가 내부 증기압을 결정하는 온도임을 알 수 있었다. 즉, 용기 상부에서 측정된 온도는 조리기구 복사열 등에 의한 일시적인 용기 표면온도로서 내부와 평형을 이룬 온도도 볼 수 없으며, 복사열의 영향이 적고 기상부와 열교환을 통해 안정화된 용기 하부(액상부)의 온도가 내부 증기압을 결정하는 온도라는 것을 추론하였다.

3.2 조리기구 재질에 따른 온도 특성

Fig. 3.2는 높이 3.2cm의 삼발이 위에 조리기구를 용기 중심부로부터 +5cm에 위치하도록 하여 실험한 결과로서 조리기구 재질에 따른 용기 액상부의 온도 특성을 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이, 조리기구의 종류와 관계없이 공통적으로 연소초기 온도가

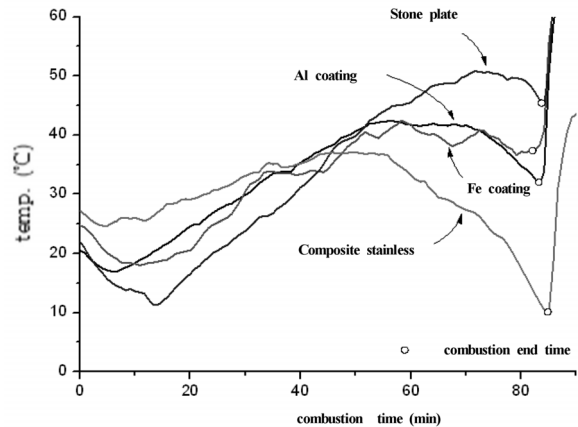


Fig. 3.2 Temperature characteristics of liquid zone in can according to cooking equipment materials.

Table 3.1 Heat capacity of cooking equipment materials.⁶⁾

구분	Al	Fe	composite stainless (1/2 Al + 1/2 Stainless)	stone
specific heat (kcal/kg °C)	0.214	0.108	0.167	0.6816
mass (kg)	2.2	6.6	1.9	7.0
heat capacity (kcal/°C)	0.47	0.71	0.32	4.77

떨어지다가 연소가 안정화되는 시점에서 온도가 상승하는 변곡점을 가지며, 가스 잔량이 감소하는 연소 후 반부에 다시 온도가 하강하는 변곡점이 다시 나타난다. 그러나, 연소 안정구간에서의 조리기구별 온도 특성 그래프 기울기가 다르게 나타나고, 온도 최고점 또한 차이가 발생하였다. 가장 큰 특징을 보이고 있는 돌판의 경우 첫 번째와 두 번째의 변곡점 구간(온도 상승 구간)이 다른 조리기구에 비해 길었으며, 온도 최고점 또한 가장 높게 나타났다. 이와 같은 현상은 조리기구의 열용량 차이와 밀접한 관련이 있다.

Table 3.1은 실험에 사용한 조리기구별 열용량을 나타내고 있으며, Fig. 3.3은 조리기구 재질에 따른 열용량과 1차 변곡점과의 관계를 보여주고 있다. 표에서 보는 바와 같이 실험에 사용한 조리기구의 열용량은 돌판(4.77), 철판(0.71), 알루미늄 코팅 불판(0.47), 2종 스테인리스 불판(0.32) 순으로 나타났다. 열용량은 어떤 물질의 온도를 1°C 높이는데 필요한 열량으로 열을 가하거나 빼앗을 때 물체의 온도가 얼마나 쉽게 변하는지를 알려주는 값으로서, Fig. 3.3에 나타나듯이 열용량이 큰 조리기구일수록 1차 변곡점이 나타나는 시간이 오래 걸리며, 열용량이 적은 조리기구일수록 1차 변곡점이 나타나는 시간이 빨라진다는 것을 알 수 있다.

Fig. 3.4은 Fig. 3.2에 나타난 조리기구 재질에 따른

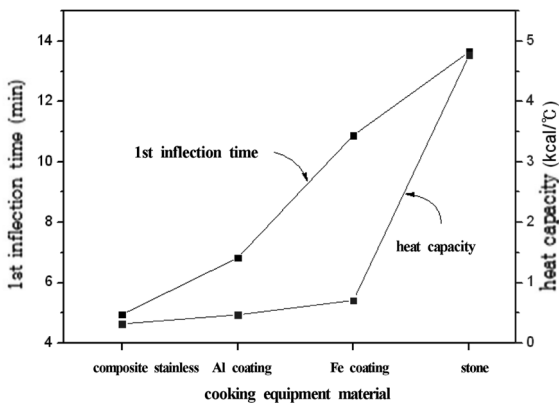


Fig. 3.3 Relation between 1st inflection point and heat capacity according to cooking equipment materials.

$$\text{열용량}[\text{kcal}/^{\circ}\text{C}] = \text{비열}[\text{kcal}/\text{kg}^{\circ}\text{C}] \times \text{질량}[\text{kg}]$$

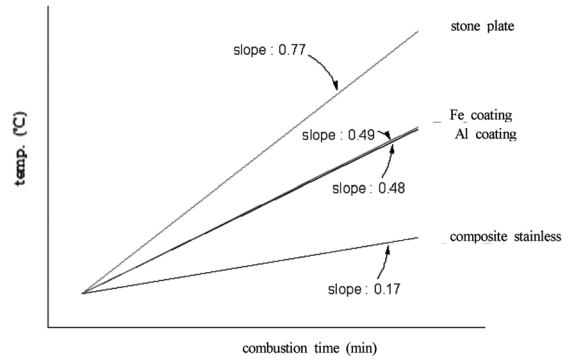


Fig. 3.4 Temperature Slope of cooking equipment materials.

용기 액상부의 온도 특성실험 중 연소가 안정화 상태에 접어든 20~60분 사이의 온도변화 기울기를 나타낸 그래프이다. 그래프에 나타나듯이 돌판의 온도변화 기울기가 0.77로 가장 크게 나타났으며, 2종 스테인리스 조리기구는 0.17로 가장 낮게 나타났다. 이와 같은 특징 또한 조리기구별 열용량의 차이와 관계가 있으며, 동일한 조건일지라도 사용하는 조리기구의 열용량에 따라 위험성이 달라질 수 있음을 나타내고 있다.

결론적으로, 본 실험을 통해 조리기구의 열용량 차이에 의한 온도 특성을 파악할 수 있었다. 조리기구의 열용량이 클수록 연소가 안정화 단계로 접어드는 1차 변곡점에 도달하는 시간이 오래 걸렸지만, 1차 변곡점 이후 안정화 단계에 접어들어서는 가장 큰 온도변화 기울기를 가지며 온도가 급격하게 상승함을 알 수 있었다. 이와 반대로, 열용량이 작을수록 1차 변곡점에 도달하는 시간은 빨랐지만 1차 변곡점 이후 온도 상승 기울기는 상대적으로 낮게 나타났다. 이를 통해, 열용량이 큰 돌판 조리기구를 장시간 사용할 경우 열용량이 작은 조리기구를 사용할 때보다 용기에 미치는 열영향이 커지면서 위험성 또한 높아짐을 알 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 이동식부탄연소기 사용의 안전성 향상을 위해 연소기의 일반적 특성과 조리기구의 재질 변화에 따른 온도 특성 실험을 실시하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 연소기의 일반적 특성으로는 전체연소 시간의 약 60~70%가 경과한 시점에서 용기 액상부의 온도가 가장 높게 나타났으며 액상부의 온도가 내부 증기압을 결정하는 온도임을 알 수 있다.

2) 이동식부탄연소기를 사용한 후, 특히 액상부의 온도가 높은 구간에서 연소를 종료하는 경우에는 즉시 용기를 연소기와 분리하여 서늘한 곳에 보관하는 것이 사고예방을 위해 바람직할 것으로 판단된다.

3) 조리기구 재질의 열용량이 클수록 연소가 안정화 단계로 접어드는 1차 변곡점에 도달하는 시간이 오래 걸리지만 안정화 이후부터는 온도가 급격히 상승하였다.

4) 안전사고를 예방하기 위해서는 조리기구의 열특성을 이해하고, 특히 돌판과 같은 열용량이 큰 조리구를 사용할 경우 더욱 각별한 주의가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글: 이 연구는 서울과학기술대학교 교내 학술연구비의 지원으로 수행되었습니다.

References

- 1) Korea Gas Safety Corporation, "Gas Statistics", p. 65, 2013.
- 2) Korea Gas Safety Corporation, "2012 Annual Gas Accidents", 2013.
- 3) Korea Gas Safety Corporation, "A Study on the Improvement of the LPG Quality Inspection Reliability", pp. 28~30, 2004.
- 4) KGS Code(KGS AB336 2010), "Facilities, Technology and Testing Standards of Portable Butane Burner.
- 5) Korean Industrial Standards (KS) KS D 9001, "Aluminum Sheet Ware".
- 6) J. F. Shackelford et al., "Materials Science" the 7th edition p. 217, 2009.